

**REPUBLIC OF FRANCE**  
**APPLICATION FOR PATENT**

FR 2 581 255

54. Piezoelectrically controlled microwave phase shifter, notably of extremely high frequencies.

57. Phase shifter for microwaves and extremely high frequencies that includes a metallic waveguide 10; at least one mobile conductive plane 10 that is parallel to one side of the aforementioned guide; and a means of moving said plane with respect to the guide between one position in which said plane coincides with the aforementioned side of the guide and a position in which said plane is to the front or to the rear of the side of the guide; characterized in that the aforementioned means of moving the plane includes a part made of piezoelectric equipment 16, 31-32 that supports said conductive plane and a source of variable current 15 that causes a variation in at least one dimension of the aforementioned part.

BEST AVAILABLE COPY

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication : **2 581 255**  
à utiliser que pour les  
commandes de reproduction

(21) N° d'enregistrement national : **85 06537**

(51) Int Cl<sup>a</sup> : H 01 P 1/18; H 01 Q 21/00.

(12) **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

A1

(22) Date de dépôt : 30 avril 1985.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la  
demande : B.O.P.I. « Brevets » n° 44 du 31 octobre 1986.

(60) Références à d'autres documents nationaux appa-  
rentés :

(71) Demandeur(s) : OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE  
RECHERCHES AEROSPATIALES dit O.N.E.R.A. — FR.

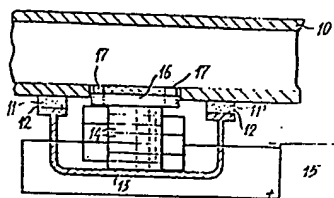
(72) Inventeur(s) : Bernard Chan-Son-Lint et Christian Jac-  
ques Pouit.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : Martinet et Lapoux.

(54) Déphaseur en micro-ondes, notamment en ondes millimétriques, à commande piézoélectrique.

(57) Déphaseur pour micro-ondes et ondes millimétriques  
comprenant un guide d'onde métallique 10; au moins un plan  
conducteur 16 mobile, parallèle à un des côtés dudit guide;  
des moyens de déplacement dudit plan par rapport au guide  
entre une position dans laquelle ledit plan coïncide avec ledit  
côté du guide et une position dans laquelle ledit plan est en  
avant ou en arrière du côté du guide caractérisé en ce que  
ledits moyens de déplacement comprennent une pièce en  
matériau piézoélectrique 18, 31-32 portant ledit plan conduc-  
teur et une source de courant variable 15 faisant varier au  
moins une dimension de ladite pièce.



FR 2 581 255 - A1

Domaine de l'invention

La présente invention concerne un déphaseur pour micro-ondes et plus particulièrement un tel déphaseur en ondes millimétriques comprenant un guide d'onde métallique de largeur variable, un plan  
5 conducteur réflecteur parallèle au petit côté du guide d'onde et des moyens piézoélectriques de faire varier la distance entre le plan réflecteur et ce petit côté.

Outre un déphaseur à guide d'onde métallique et à commande piézoélectrique, l'invention concerne des antennes à guide d'onde  
10 métallique et à diagramme variable ou à balayage de lobe dans lesquels le déphaseur comporte des perturbations périodiques.

Description de l'art antérieur

On sait par l'article "Electronic Phase Shifter for Millimeter-Wave Semiconductor Dielectric Integrated Circuits" par  
15 Harold JACOBS et Metro M. CHREPTA, IEEE, Vol. MTI-22, N° 4, Avril 1974, que la présence d'un plan métallique sur une face d'un guide diélectrique transforme ce dernier en guide image. Cet article contient un calcul approché par la méthode de MARCATILLI pour évaluer la constante de propagation dans le guide dans les deux  
20 états extrêmes : guide totalement diélectrique (plan conducteur infiniment éloigné) et guide image (plan conducteur posé sur un côté du guide). Aucun calcul n'a été fait dans cet article sur le cas général, montrant la variation de la constante de propagation dans le guide en fonction de la distance du plan conducteur au  
25 guide diélectrique.

Domaine de l'invention

La présente invention concerne un déphaseur pour micro-ondes et plus particulièrement un tel déphaseur en ondes millimétriques comprenant un guide d'onde métallique de largeur variable, un plan  
5 conducteur réflecteur parallèle au petit côté du guide d'onde et des moyens piézoélectriques de faire varier la distance entre le plan réflecteur et ce petit côté.

Outre un déphaseur à guide d'onde métallique et à commande piézoélectrique, l'invention concerne des antennes à guide d'onde  
10 métallique et à diagramme variable ou à balayage de lobe dans lesquels le déphaseur comporte des perturbations périodiques.

Description de l'art antérieur

On sait par l'article "Electronic Phase Shifter for Millimeter-Wave Semiconductor Dielectric Integrated Circuits" par  
15 Harold JACOBS et Metro M. CHREPTA, IEEE, Vol. MTT-22, N° 4, Avril 1974, que la présence d'un plan métallique sur une face d'un guide diélectrique transforme ce dernier en guide image. Cet article contient un calcul approché par la méthode de MARCATILLI pour évaluer la constante de propagation dans le guide dans les deux  
20 états extrêmes : guide totalement diélectrique (plan conducteur infiniment éloigné) et guide image (plan conducteur posé sur un côté du guide). Aucun calcul n'a été fait dans cet article sur le cas général, montrant la variation de la constante de propagation dans le guide en fonction de la distance du plan conducteur au  
25 guide diélectrique.

On a cherché à obtenir une variation de la constante de propagation par une commande électronique en utilisant des barrettes de diodes PIN régulièrement espacées et intégrées sur un côté du guide d'onde diélectrique. Quand les diodes sont polarisées en direct, les zones intrinsèques des diodes PIN se comportent comme un plan conducteur et quand les diodes sont polarisées en inverse, c'est-à-dire sont non-conductrices, elles simulent un état dans lequel aucun plan conducteur n'est présent.

On connaît par le brevet FR-A-2509095 un dispositif déphaseur en guide d'ondes rectangulaire métallique caractérisé en ce qu'il comporte, disposée au voisinage d'au moins une de ses parois, une rangée de fils alignés faiblement distants, parallèles au petit côté du guide, lesdits fils portant chacun des interrupteurs contrôlables, tels que des diodes et des moyens de polarisation électrique étant prévus pour ouvrir ou fermer lesdits interrupteurs selon le déphasage recherché.

Le principe consistant à simuler la présence ou l'absence du plan conducteur par des diodes PIN est théoriquement bon. Cependant, en pratique, malgré l'injection des porteurs dans la zone intrinsèque des diodes, celles-ci ne sont pas parfaitement conductrices surtout en ondes millimétriques. C'est ce qui explique le résultat décevant obtenu avec ces déphaseurs : un déphasage limité à  $10^\circ/\text{cm}$  à 70 GHz. En outre ce type de dispositif ne peut pas être utilisé pour créer un déphasage continûment variable. En effet, pour de faibles polarisations des diodes (donc faible déphasage), la zone intrinsèque se comporte comme un diélectrique à très fortes pertes.

Sommaire de l'invention

- 3 -

Conformément à l'invention, le déphaseur à guide d'onde métallique et à paroi conductrice de position variable comprend une surface réfléchissante plane ou incurvée portée par une pièce en matériau piézoélectrique et ce matériau piézoélectrique est activé par une tension de commande, ce qui détermine la position de la paroi conductrice dans le guide.

Le déphaseur de l'invention présente plusieurs avantages :

- Le déphasage est parfaitement réciproque.
  - Le déphasage par unité de longueur du guide est très grand.
- Autour de la fréquence de 94 GHz, on peut obtenir un déphasage de  $360^\circ/4,2$  cm pour un déplacement de la paroi conductrice de 300 microns

- Les pertes d'insertion sont extrêmement faibles.

#### Brève description des dessins

L'invention va être maintenant décrite en détail en relation avec les dessins annexés dans lesquels :

- la Fig.1 représente la section droite d'un guide métallique rectangulaire ;
- la Fig.2 représente un déphaseur pour micro-ondes et notamment pour ondes millimétriques conforme à l'invention ;
- la Fig.3 représente une antenne à guide d'onde métallique et à largeur rendue variable par moyens piézoélectriques ;
- les Figs.4a, 4b et 5 représentent une "biplaque piézoélectrique" et la courbe de déformation en fonction de la tension de cette biplaque ;
- la Fig.6 représente une antenne à guide d'onde métallique et à largeur rendue variable par des moyens piézoélectriques différents de ceux de la Fig.3 ;

- 4 -

- la Fig.7 représente un déphaseur programmé dans lequel la tension d'activation des disques piézoélectriques est asservie à une valeur de consigne du déphasage ; et

- les Figs.8a et 8b représentent une variante de réalisation du déphaseur des figures 2a et 2b.

#### Description détaillée des réalisations préférées

En se référant à la Fig.1, on a représenté la section droite d'un guide d'onde rectangulaire dont le petit côté peut prendre une position variable entre deux limites dans lesquelles la largeur du guide est respectivement  $a$  et  $a'$ . Les courbes  $C_1$  et  $C_2$  représentent l'amplitude du champ électrique  $\vec{E}$  pour les deux largeurs  $a$  et  $a'$ . Si le guide travaille en mode  $TE_{0,1}$ , la constante de phase de l'onde guidée  $\beta_g$  est dans les cas limités

$$\beta_g (^{\circ}/\text{mm}) = \frac{360^{\circ}}{\lambda_0 (\text{mm})} \sqrt{1 - (\lambda_0/2a)^2} \quad (1)$$

$$\text{et } \beta_g (^{\circ}/\text{mm}) = \frac{360^{\circ}}{\lambda_0 (\text{mm})} \sqrt{1 - (\lambda_0/2a')^2} \quad (2)$$

ce qui traduit un déphasage :

$$\Delta\beta_g (^{\circ}/\text{mm}) = \frac{360^{\circ}}{\lambda_0 (\text{mm})} \left[ \sqrt{1 - \frac{\lambda_0^2}{4a^2}} - \sqrt{1 - \frac{\lambda_0^2}{4a'^2}} \right] \quad (3)$$

Si le changement de la largeur du guide est effectué sur une longueur  $L$  du guide, on obtient un déphasage total égal à :

$$\left[ \Delta\beta_g \right] = \Delta\beta_g (^{\circ}/\text{mm}) \times L (\text{mm}) \quad (4)$$

En se référant aux Figs.2a et 2b un guide d'onde métallique repose par un de ses petits côtés sur deux cales 11 et 11' en matériau isolant. Ces cales reposent elles-mêmes sur le rebord 12 d'un boîtier rectangulaire 13. Dans ce boîtier est logé un

- 5 -

empilement de rondelles ou disques en céramique piézoélectrique 14. Ces rondelles sont connectées aux pôles d'une source de tension continue variable 15. A la rondelle la plus haute est fixée, par exemple par collage, une plaque 16 en matériau conducteur. Une ouverture est pratiquée dans le petit côté du guide, en regard de la plaque 16. Cette plaque est guidée par une bride conductrice 17. Selon la tension d'activation de l'empilement piézoélectrique 14 la position de la plaque varie entre une position où sa face avant est coplanaire avec le petit côté du guide et une position où cette face avant est en avant ou en arrière du plan de ce petit côté.

On peut convertir le déphaseur à guide métallique de la Fig. 2 en antenne en disposant, le long du guide métallique, des moyens de perturbation de l'onde guidée qui forment des éléments rayonnants.

La Fig. 3 représente une antenne. Sur un grand côté du guide d'onde métallique 21 sont formées des fentes 22 également espacées et séparées par des intervalles 23. Ces fentes constituent des perturbations rayonnantes. Le diagramme d'un tel réseau de fentes dépend ainsi qu'il est connu du nombre de fentes élémentaires  $N$ , de l'espacement entre fentes exprimé en longueur d'onde  $n$  et du déphasage entre fentes adjacentes  $p$ . Le diagramme de rayonnement est représenté par la fonction :

$$C_p^{N,n} = \frac{\sin N (\pi p - \pi n \cos \alpha)}{\sin (\pi p - \pi n \cos \alpha)}$$

Si  $\delta$  est l'intervalle entre fentes, le déphasage entre fentes adjacentes est

$$\phi = 2\pi(\delta/\lambda_g)$$



Si l'on fait varier  $\lambda_g$  grâce à une plaque conductrice 24, on obtient une variation du déphasage entre fentes et par suite un balayage de lobe.

Dans les dispositifs des Figs. 2 et 3, la plaque conductrice de réglage de la longueur d'onde guidée est déplacée en translation grâce à des empilements de rondelles de céramique piézoélectriques. Pour fixer les idées, l'ordre de grandeur de la translation est de quelques dizaines de microns. Un empilement de 40 rondelles piézoélectrique d'épaisseur totale de 8 cm permet d'obtenir un déplacement de 20  $\mu$ m pour une tension d'activation de 700 Volts.

On va maintenant décrire l'emploi de "biplaques piézoélectriques" qui sont représentées sur les Figs. 4a et 4b et dont la caractéristique "déformation-tension" est donnée par la Fig. 5. L'emploi de biplaques permet d'assurer des translations de la plaque conductrice de quelques dizaines à quelques centaines de microns.

La biplaque se compose de deux rondelles ou disques piézoélectriques 31 et 32 (Figs. 4a et 4b) alimentés en opposition. Quand elle est activée la biplaque prend par exemple la forme représentée sur la Fig. 4b. Au centre de la rondelle 32 est fixée, par exemple par collage (point de colle 36), une plaque plane conductrice 33 de réglage de la longueur d'onde guidée. Le mouvement du plan conducteur reste une translation comme dans les antennes précédemment décrites, bien que le mouvement de la biplaque soit une transformation d'une surface plane en une surface substantiellement sphérique, convexe ou concave. Cependant on peut profiter de la déformation de la biplaque pour obtenir une surface

- 7 -

déformable, en métallisant la face de la céramique qui forme la paroi mobile.

La Fig.5 représente la flèche en mm. d'une rondelle de 50 mm de diamètre en fonction de la tension d'alimentation en volts.

5 La Fig.6 représente une antenne en guide à fentes dans laquelle le déphasage d'un élément rayonnant au suivant est le même pour tous les éléments mais peut varier. Des fentes 34 sont formées sur le guide d'onde métallique 35.

10 La translation de la plaque 33 est égale à la flèche de la biplaque 31-32 constituée de deux éléments parallélépipédiques de matériau piézoélectrique.

Pour fixer les idées, on suppose que l'antenne de la Fig.6 a les caractéristiques suivantes :

fréquence 94 GHz

15 guide standard en bande W

$a = 2,54 \text{ mm}$

$b = 1,27 \text{ mm}$

$a-a' = 300 \text{ } \mu\text{m}$

$\left[ \begin{smallmatrix} \Delta\theta \\ \theta \end{smallmatrix} \right] = 360^\circ \text{ pour } L = 42 \text{ mm}$

20 dimension de la biplaque piézoélectrique. Longueur : 50 mm,

Largeur : 1,26 mm.

flèche maximale 300  $\mu\text{m}$

tension d'excitation maximale 700 V.

nombre de fentes ; 21

25 longueur de l'antenne 71 mm

distribution d'amplitude de l'antenne suivant la loi de Taylor avec -30dB aux extrémités.

rendement de l'antenne = 83%

- 8 -

largeur du lobe principal à  $3\text{dB} \approx 4^\circ$   
niveau des lobes secondaires  $\approx -30\text{dB}$

Si l'on fait varier la tension d'excitation de la biplaque on obtient un balayage électronique de lobe.

Avantageusement pour conserver la symétrie de la structure d'antenne on dispose dans le guide deux parois mobiles, respectivement sur les deux petits côtés en regard, et on fait varier les tensions d'excitation en phase.

La Fig.7 est analogue à la Fig.3 mais on trouve en plus deux antennes 37 et 38 en forme de tige qui pénètrent dans le guide 10 et sont situées à une distance prédéterminée l'une de l'autre, un centimètre par exemple. Les antennes sont reliées à un détecteur de phase 39. La sortie de ce détecteur de phase est reliée à un amplificateur opérationnel 40 qui reçoit d'autre part une tension de consigne d'une source de tension 41. La sortie de l'amplificateur opérationnel 40 commande un amplificateur à haute tension 42 interposé entre la source 15 et l'empilement de rondelles piézodieléctriques 14.

On peut ainsi commander le déphasage du déphaseur à guide métallique et commande piézoélectrique.

La figure 8 est une variante de réalisation du déphaseur de la figure 2. Une biplaque parallélépipédique 31, 32 dont la face métallisée 33' prend sous l'effet d'une tension de commande une forme concave ou convexe, est disposée dans le guide d'onde métallique 10. Les deux éléments de la biplaque sont alimentés en opposition et la face métallisée 33' peut prendre la forme convexe représentée sur la figure 8a, ou la forme concave contraire.

2581255

- 9 -

Dans les formes de réalisation du déphaseur décrites et dans les applications envisagées le plan conducteur mobile est parallèle à l'un des petits côtés du guide et les fentes rayonnantes transformant le déphaseur en antenne sont disposées sur un des grands côtés. Mais, pour certaines applications il est avantageux 5 d'utiliser un plan conducteur mobile parallèle à un des grands côtés du guide, les fentes rayonnantes étant disposées sur le petit côté.

RE V E N D I C A T I O N S

1 - Déphaseur pour micro-ondes et ondes millimétriques comprenant

un guide d'onde métallique (10) ;

au moins un plan conducteur (16) mobile, parallèle à un des  
5 côtés dudit guide ;

des moyens de déplacement dudit plan par rapport au guide  
entre une position dans laquelle ledit plan coïncide avec ledit  
côté du guide et une position dans laquelle ledit plan est en avant  
ou en arrière du côté du guide ;

10 caractérisé en ce que lesdits moyens de déplacement  
comprennent une pièce en matériau piézoélectrique (16, 31-32)  
portant ledit plan conducteur et une source de courant variable  
(15) faisant varier au moins une dimension de ladite pièce.

2 - Déphaseur conforme à la revendication 1, caractérisé en ce  
15 que le guide d'onde métallique comprend des perturbations  
spacialement périodiques le transformant en antenne et que ledit  
plan conducteur est déplaçable par rapport à la zone du guide  
présentant lesdites perturbations.

3 - Déphaseur conforme à la revendication 2 caractérisé en ce  
20 que lesdites perturbations périodiques sont des fentes (22) dans  
ledit guide d'onde métallique.

4 - Déphaseur conforme à l'une quelconque des revendications 1  
ou 2, caractérisé en ce que la pièce en matériau piézoélectrique  
est un empilement d'éléments en matériau piézoélectrique dont  
25 l'épaisseur varie sous l'effet d'une tension de commande, un  
élément extrême de l'empilement portant le plan conducteur.

- 11 -

5 - Déphaseur conforme à l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la pièce en matériau piézoélectrique est une biplaque formée de deux éléments piézoélectriques excités en opposition dont la courbure varie sous l'effet d'une tension de commande, un des éléments de la biplaque portant fixé à son centre le plan conducteur.

6 - Déphaseur conforme à l'une quelconque des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la pièce en matériau piézoélectrique est une biplaque formée de deux éléments piézoélectriques excités en opposition dont la courbure varie sous l'effet d'une tension de commande, la face extrême d'un des éléments de la biplaque étant métallisée et prenant sous l'effet de la tension de commande une forme substantiellement sphérique, cette face métallisée formant le petit côté du guide.

7 - Déphaseur conforme à la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de mesurer le déphasage de l'onde guidée entre deux pointes du guide d'onde métallique, des moyens de comparer ce déphasage à une valeur de consigne et un amplificateur de la tension d'activation de la pièce en matière piézodélectrique ledit amplificateur étant commandé par le signal sortant des moyens de comparaison.

FIG.1

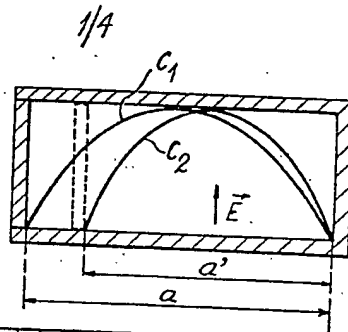


FIG.2a

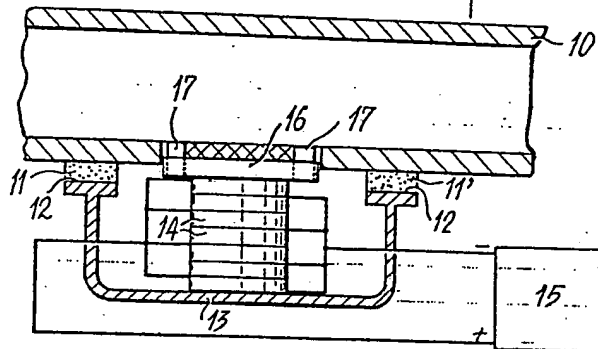
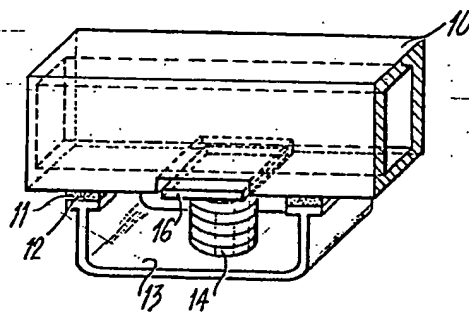


FIG.2b



2581255

FIG. 3

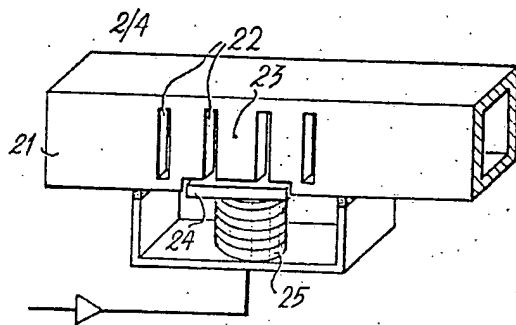


FIG. 4a

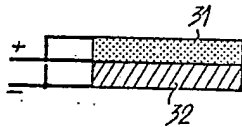


FIG. 4b

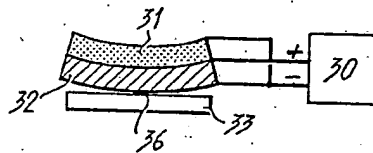
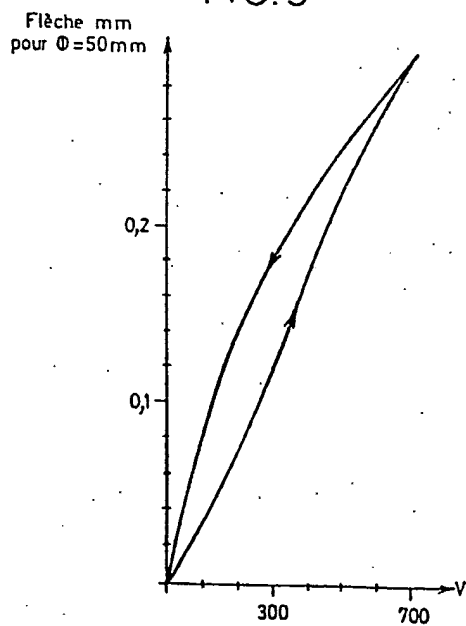


FIG. 5





3/4

FIG.6

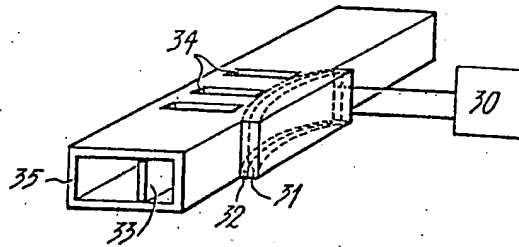


FIG.7

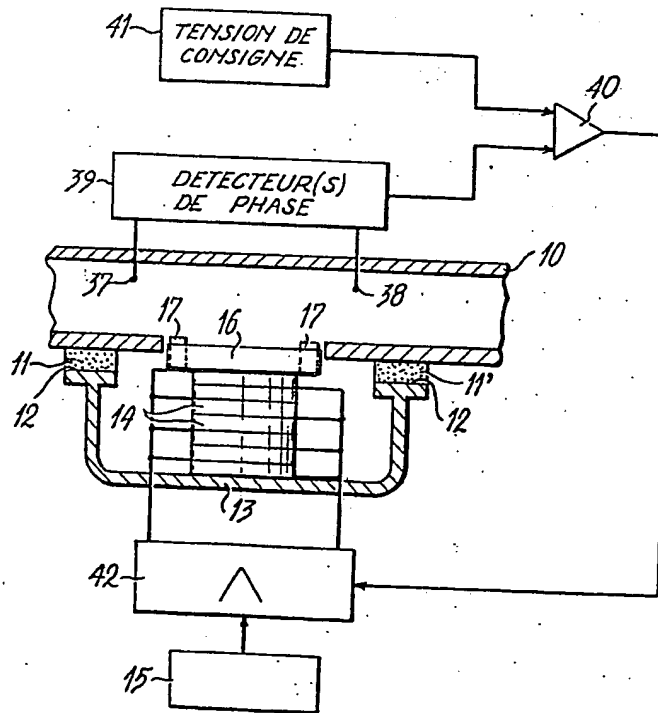


FIG. 8a

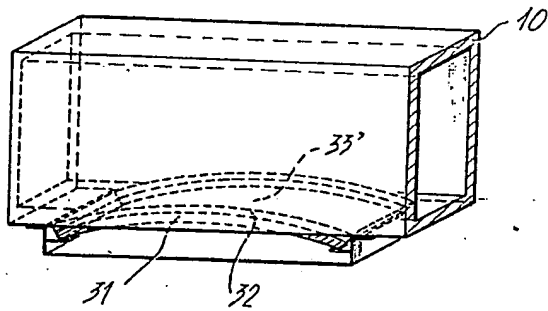
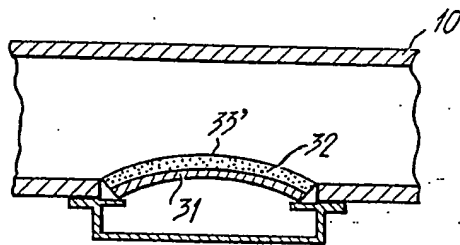


FIG. 8b



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**